

---

*Телекомунікація, радіолокація, навігація*

---

**ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ БОКОВИХ ПЕЛЮСТОК СИГНАЛУ З  
ЛІНІЙНОЮ ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ**

*Кирієнко С. О., магістрант; Коваль А. В., к. т. н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

На сьогоднішній день у переважній більшості радіолокаційних станцій використовується складний зондуючий сигнал, який визначається базою сигналу.

$$B = \Delta F \tau_i, \quad (1)$$

де  $\Delta F$  — девіація частоти,  $\tau_i$  — тривалість сигналу.

Складний сигнал дозволяє одночасно досягти оптимального вирішення роздільної здатності і ймовірності знаходження за часом та частотою на відміну від простих. Незважаючи на це, при обробці виникає проблема з високим рівнем бокових пелюсток. Вплив бокових пелюсток проявляється у маскуванні інформаційних піків сигналів. На практиці часто важливо не пропустити корисний слабкий радіосигнал від об'єкта з малою ефективною поверхнею розсіювання на фоні завад.

В наш час розрахована ціла бібліотека сигналів, але найбільш поширені сигнали з лінійною частотною модуляцією. Радіоімпульс з лінійною частотною модуляцією описується як:

$$S(t) = U_0 \cos\left(2\pi f_n t \pm \pi \Delta F t^2 / \tau_i + \varphi_0\right) \text{ при } 0 \leq t \leq \tau_i, \quad (2)$$

де  $U_0$  — амплітуда,  $f_n$  — початкова частота,  $\varphi_0$  — початкова фаза,  $\Delta F$  — девіація частоти,  $\tau_i$  — тривалість сигналу. Максимальний рівень бокових пелюсток стиснутого сигналу з лінійною частотною модуляцією складає  $-13,2$  дБ [1]. Зазвичай для зниження рівня бокових пелюсток застосовують вагову обробку прийнятого сигналу.

Найвідоміші вагові функції з літератури (Кайзера-Бесселя, Гауса, Дольфа-Чебишева та інші [1, 2]) дозволяють реалізувати придушення бокових пелюсток до рівня  $-40$  дБ і менше. Кращим з точки зору досягнутого рівня бокових пелюсток, забезпечують вагові функції загального типу, які визначається як:

$$W(f) = k + (1 - k) \cos^2 \frac{\pi f}{\Delta F}. \quad (3)$$

Ця функція представляє собою косинус-квадратний відгук з множителем  $(1 - k)$  і розташована на п'єдесталі висоти  $k$ , де  $k \leq 1$ . Хеммінгове зважування ( $k = 0,08$ ) забезпечує найменший рівень бокових пелюсток ( $-42,8$  дБ) для цього класу функцій [1].

Однак гранично досяжний рівень бокових пелюсток для кожної з вагових функцій забезпечується лише при строго прямокутному спектрі сигналу з лінійною частотною модуляцією. При малих базах сигналу форма спектра

суттєво відрізняється від прямокутної. Тому із зменшенням бази сигналу при будь-якій ваговій функції  $W(f)$  спостерігається значне зростання рівня бокових пелюсток стиснутого сигналу. Ступінь зростання рівня бокових пелюсток залежить від того, як визначена частотна характеристика  $H(f)$  пристрою стиснення у виразі для стиснутого сигналу:

$$q(t) = F^{-1} \{ F[S(t)] H(f) \}, \quad (4)$$

де  $F[S(t)]$  і  $F^{-1}$  — пряме перетворення Фур'є та зворотне перетворення Фур'є.

Розрізняють частотне і часове зважування.

При частотному:

$$H(f) = R(f)W(f), \quad (5)$$

при часовому:

$$H(f) = \{ F[S(t)w(t)] \}, \quad (6)$$

тут  $R(f)$  — частотна характеристика оптимального фільтру;  $W(f)$ ,  $S(t)w(t)$  — вагові функції, задані, відносно частотної і часової областей.

Відгук фільтра стиснення визначається тим, як в (5) задані функції  $R(f)$  і  $W(f)$ . На рисунку 1 показано зжаний сигнал з лінійною частотною модуляцією при частотній та часовій обробці по Хеммінгу.

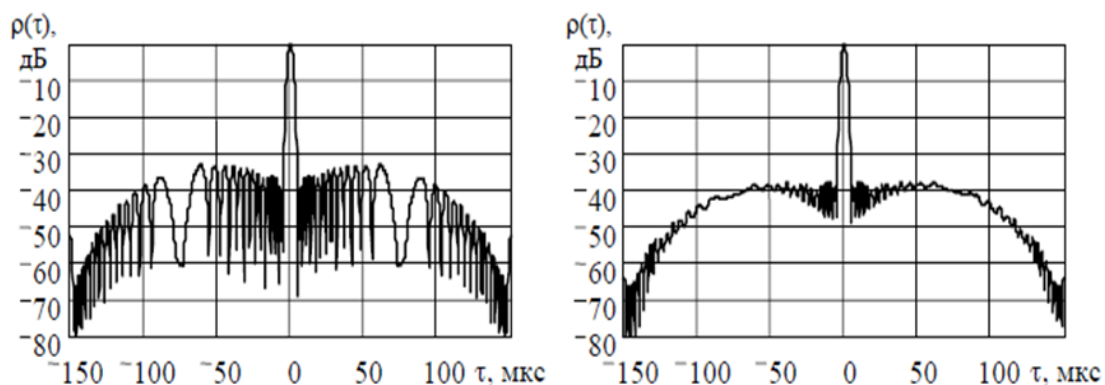


Рис. 1. Зжаний ЛЧМ сигнал при частотній (а) та часовій (б) обробці по Хеммінгу.

На рисунку 1 (а) показаний вид стисненого сигналу з лінійною частотною модуляцією, при частотно – ваговій обробці по Хеммінгу з такими параметрами:  $B = 100$ ,  $\Delta F = 0,4$  МГц,  $\tau = 150$  мкс.

Максимальний рівень бокових пелюсток в цьому випадку розраховується за формулою [3]:

$$A_{\text{макс}} = (-19 \lg B + 1) \text{ дБ при } 10 \leq B \leq 120,$$

яка забезпечує точність  $\pm 0,5$  дБ. При частотному зважуванні сигналу з лі-

нійною частотною модуляцією (рис. 1, а) рівень бокових пелюсток становить – 31 дБ.

При ваговій виборці у часовій області, якщо коефіцієнт передачі фільтра стиснення визначено відповідно до (6), то зважений відгук містить парні повторення, зміщенні по частоті на  $\pm\pi/\tau$ . Максимальний рівень бокових пелюсток розраховується за формулою [3]:

$$A_{\text{макс}} = (-19 \lg B - 4) \text{ дБ при } 10 \leq B \leq 120.$$

Для стисненого сигналу з тимчасовим зважуванням характерно майже повна відсутність пульсацій при  $t = \pm 0,5\tau$  і незначне їх зростання при інших значеннях  $t$  (рис. 1, б).

При ваговій обробці сигналу з лінійною частотною модуляцією (при  $B = 100$ ) за Хеммінгом рівень бокових пелюсток стиснутого сигналу (рис. 1, б) становить – 37,9 дБ.

При амплітудно-частотній корекції прийнятого сигналу з лінійною частотною модуляцією втрати щодо сигнал / шум можуть бути зведені до – 0,2 дБ, а рівень бокових пелюсток — до – 46,7 дБ, при незначному збільшенні чутливості.

#### **Перелік посилань**

1. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Кук Ч., Бернфельд М. — М.: Сов.радио, 1971. — 568 с.
2. Рабинер Л., Теория и применение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Александрова / Рабинер Л., Гоулд Б. — М.: Мир, 1978. — 848 с.
3. Свистов В.М. Радиолокационные сигналы и их обработка. — М.: Сов.радио, 1977. — 448 с.

#### **Анотація**

Розглянуто сигнал з лінійною частотною модуляцією. Проведено аналіз методів зменшення рівня бокових пелюсток при обробці такого сигналу, отримані численні значення максимального рівня бокових пелюсток при ваговій обробці в частотній та часовій області.

**Ключові слова:** рівень бокових пелюсток, сигнал з лінійною частотною модуляцією.

#### **Аннотация**

Рассмотрено сигнал с линейной частотной модуляцией. Проведен анализ методов уменьшения уровня боковых лепестков при обработке такого сигнала, получены численные значения максимального уровня боковых лепестков при весовой обработке в частотной и временной областях.

**Ключевые слова:** уровень боковых лепестков, сигнал с линейной частотной модуляцией.

#### **Abstract**

Considered signal with linear frequency modulation. Analysis of methods to reduce the sidelobe level in the processing of such a signal, obtained numerical value of the maximum of sidelobe level processing in the frequency and time domains.

**Keywords:** sidelobe level, a signal with linear frequency modulation.